

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 38 23 283 C 2

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**F 04 B 1/08**  
F 16 H 61/40  
F 15 B 11/02

②① Aktenzeichen: P 38 23 283.9-15  
②② Anmeldetag: 8. 7. 88  
④③ Offenlegungstag: 26. 1. 89  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 10. 9. 92

DE 38 23 283 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①

09.07.87 JP P 171882/87 28.07.87 JP P 188546/87  
28.07.87 JP P 188547/87

⑦③ Patentinhaber:

Tokyo Keiki Co., Ltd., Tokio/Tokyo, JP

⑦④ Vertreter:

Mitscherlich, H., Dipl.-Ing.; Gunschmann, K.,  
Dipl.-Ing.; Körber, W., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat.;  
Schmidt-Evers, J., Dipl.-Ing.; Melzer, W., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 8000 München

⑥② Teil in: P 38 44 843.2

⑦② Erfinder:

Takeuchi, Kunihiki, Kawasaki, Kanagawa, JP; Akita,  
Yoshisuke, Hasuda, Saltama, JP; Hayakawa, Osuma,  
Fuchu, Tokio/Tokyo, JP

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 34 22 089 A1  
DE 32 08 250 A1

A. LANGEN; Dynamisches Verhalten von  
druckgeregelten Verstellpumpen o + p, ölhydraulik  
und pneumatik 31(1987)Nr. 7, S. 574-580;  
Elektrohydraulische Druckregelung mit  
Verstellpumpen o + p, ölhydraulik und  
pneumatik 29(1984)Nr. 11, S. 685-688;

⑤④ Regeleinrichtung für eine steuerbare Förderpumpe

DE 38 23 283 C 2

## DE 38 23 283 C2

1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Regeleinrichtung einer steuerbaren Förderpumpe, bei der durch Steuerung eines Durchflusses und eines Förderdrucks der steuerbaren Förderpumpe ein Stellglied angesteuert ist, und insbesondere auf eine Regeleinrichtung einer steuerbaren Förderpumpe, in der die Regelung bei Anhalten des Stellgliedes, das sich bei der Regelung der Fördermenge mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, auf Förderdruckregelung umgeschaltet wird, um den Anhaltedruck konstant zu halten.

Eine Regeleinrichtung für eine steuerbare Förderpumpe nach dem Stand der Technik ist z. B. die in Fig. 1 dargestellte Einrichtung.

Nach Fig. 1 kennzeichnet die Ziffer 10 eine steuerbare Förderpumpe mit einem durch Ändern von z. B. einer Eingangsspannung oder einem Eingangsstrom verstellbaren Winkel einer schräg gestellten Platte (Schiefer oder Taumelscheibe), so daß sich ein Kolbenhub und eine Fördermenge ändert.

Bezugsziffer 12 kennzeichnet einen Servoverstärker, um die Fördermenge, im folgenden auch Durchfluß oder Speisemenge genannt, zu steuern; die Bezugsziffer 14 kennzeichnet einen Servoverstärker, um einen Druck zu steuern oder zu regeln; die Bezugsziffer 16 kennzeichnet einen Schalter, um zwischen den Ausgängen der Servoverstärker 12 und 14 umzuschalten; die Bezugsziffer 18 kennzeichnet einen Spannungskomparator, um den Umschaltvorgang des Schalters 16 zu steuern; und die Ziffer 20 kennzeichnet einen Arbeitszylinder.

In einer solchen Steuereinrichtung befindet sich der Schalter 16 bei normaler Durchflußregelung in der Stellung A. Ein Winkelsensor 28, der den Anstellwinkel der Schiefscheibe erfaßt, ist an der Pumpe 10 angebracht. Der Erfassungswinkel  $\Theta$  des Winkelsensors 28 repräsentiert den Förderpumpendurchfluß  $Q$ , im folgenden auch Durchfluß genannt. Der Erfassungswinkel  $\Theta$  des Winkelsensors 28, d. h. der Durchfluß  $Q$  bildet das Eingangssignal zu einer Summierstelle 22. Ein Soll-Durchfluß, im folgenden auch Durchfluß-Sollwert oder vorgesehener Wert  $Q_c$  genannt, eines Soll-Durchflußgebers (nicht dargestellt) bildet ebenfalls ein Eingangssignal zu der Summierstelle 22. Folglich bildet die Differenz zwischen dem Soll-Durchfluß  $Q_c$  und dem Förderpumpendurchfluß  $Q$ , die aus der Summierstelle 22 gewonnen wird, das Eingangssignal für den Servoverstärker 12.

So wird die Pumpe 10 durch das Ausgangssignal des Servoverstärkers 12 geregelt, um die Fördermenge  $Q$  auf dem vorgesehenen Wert, dem Soll-Durchfluß  $Q_c$  zu halten. Eine Kolbenstange 32 des Zylinders 20 wird mit konstanter Geschwindigkeit bewegt.

Wenn die Kolbenstange 32 des Zylinders 20 auf einen Anschlag 100 auftrifft und mechanisch anhält, beginnt der Druck in dem Zylinder plötzlich zu steigen.

Ein Differenzwert ( $P_c - \alpha$ ), der durch Subtrahieren eines vorbestimmten Wertes  $\alpha$  von einem Soll-Druckwert  $P_c$ , der das Ausgangssignal eines Soll-Druckgebers (nicht dargestellt) darstellt, gewonnen wird, bildet eine Eingangsgröße als Referenzgröße des Spannungskomparators 18. Ein Pumpenförderdruck  $P$ , der von einem Drucksensor 30 erfaßt wird, ist ebenfalls eine Eingangsgröße des Spannungskomparators 18. Folglich wird das Ausgangssignal des Spannungskomparators 18 invertiert, so daß der Schalter 16 in die B-Stellung geschaltet wird, wenn der Pumpenförderdruck  $P$ , der durch die Kollision der Kolbenstange 32 mit dem Anschlag 100 zu steigen begann, den Referenzwert ( $P_c - \alpha$ ), der gering-

2

fügig unter dem Druck-Sollwert  $P_c$  liegt, erreicht. Durch Verbinden des Schalters 16 mit der B-Seite, ist das Differenzsignal ( $P_c - P$ ) der Summierstelle 26 das Eingangssignal für den Servoverstärker 14. Es wird eine Druckregelung ausgeführt, wobei die Fördermenge der steuerbaren Förderpumpe 10 so geregelt wird, daß der Pumpenförderdruck aufrechterhalten wird, d. h. der Anhaltedruck  $P$  wird durch das Ausgangssignal des Servoverstärkers 14 auf dem vorgesehenen Druckwert  $P_c$  gehalten.

Eine solche Steuereinrichtung für eine steuerbare Förderpumpe nach dem Stand der Technik weist folgende Schwierigkeiten auf.

Durch das Zeitverhalten der Pumpe 10 wird eine größere Menge von Flüssigkeit, als benötigt, abgegeben, da das Umschalten von der Durchflußregelung auf die Druckregelung dann erfolgt, wenn der Förderdruck  $P$  den Referenzwert ( $P_c - \alpha$ ), der z. B. geringfügig unter dem Druck-Sollwert  $P_c$  nach Fig. 2 liegt, erreicht, wenn der Durchfluß-Sollwert  $Q_c$  auf einen hohen Wert gesetzt ist oder wenn er das Hubende (Stoßende) bei kleinem Zylinderinhalt erreicht. Auf diese Weise wird ein hohes Überspringen  $\Delta P$  für den Druck-Sollwert  $P_c$  erzeugt.

Wenn, um dieses zu vermeiden, die Verstärkung des Servoverstärkers 14 auf einen sehr kleinen Wert gesetzt wird, um das Überspringen  $\Delta P$  zu vermeiden, wird die Einschwingzeit, die Zeit bis zu der der Anhaltedruck auf den Sollwert  $P_c$  eingeschungen ist, sehr groß, womit eine Verschlechterung der Regelgenauigkeit eintritt.

Andererseits wird, wenn die Kolbenstange 32 mit dem Anschlag 100 zusammentrifft und anhält, die Regelung auf Druckregelung umgeschaltet. Bei Druckregelung jedoch übt das Produkt ( $V \cdot \beta$ ) aus Volumeninhalt der Rohre mit Zylinder 20 und Komprimierbarkeit  $\beta$  der Betriebsflüssigkeit einen großen Einfluß auf die Druckregelung aus.

Folglich wird bei einer Steuereinrichtung nach dem Stand der Technik die Verstärkung des Servoverstärkers 14 bei Inbetriebnahme (Zustand, in der die Steuereinrichtung auf- und zusammengebaut wird) der Förderpumpe 10 so eingestellt, daß unter Beobachtung der erfaßten Kurvenverläufe des Drucksensors 30, eine optimale Regelcharakteristik erzielt wird, wenn auf Druckregelung umgeschaltet wird.

Die Abgleicharbeiten, um die optimale Druck-Charakteristik (Druck-Einschwingvorgang) zu erreichen, sind jedoch sehr kompliziert.

Weiterhin ist es notwendig, den vorbestimmten Wert  $\alpha$  zur Festsetzung einer Referenzspannung des Spannungskomparators 18 auf den optimalen Wert einzustellen, um das Überspringen nach Fig. 2 bei Umschalten auf Druckregelung zu eliminieren.

Eine Störung derart, daß der Pumpenförderdruck  $P$  den Referenzwert ( $P_c - \alpha$ ) übersteigt, und die Regelung auf Druckregelung umgeschaltet wird, entsteht, wenn z. B. der vorbestimmte Wert  $\alpha$  groß gemacht wird, um das Überspringen zu eliminieren, wenn der Förderdruck durch Störungen des Widerstandes oder ähnlichem für die durch die Rohre fließende Flüssigkeit bei Durchflußregelung schwankt. Das Auftreten der Störung, daß während der Durchflußregelung auf Druckregelung umgeschaltet wird, hebt den Pumpenförderdruck auf den Druck-Sollwert  $P_c$ , so daß die Fördermenge plötzlich ansteigt. Es entsteht die Gefahr, daß sich die Kolbenstange 32 des Zylinders 20 mit einer ungleichmäßigen Geschwindigkeit bewegt.

Im Gegensatz dazu tritt bei einem kleinen vorbe-

DE 38 23 283 C2

3

stimmten Wert von  $\alpha$  durch die Druckregelung, die den Pumpen-Förderdruck herabsetzt, ein Unterschwingen auf, nachdem der Pumpen-Förderdruck  $P$  wegen des Umschaltens auf die Druckregelung auf den vorgesehenen Wert (Sollwert)  $P_c$  eingeschwungen ist, wenn der Druck-Sollwert  $P_c$  auf einen geringen Wert zurückgenommen wird, um die Kraft, mit der die Kolbenstange 32 des Zylinders 20 drückt, herabzusetzen. Wenn der Pumpen-Förderdruck durch das Unterschwingen auf den Referenzwert ( $P_c - \alpha$ ) oder tiefer abfällt, wird die Regelung auf Durchflußregelung umgeschaltet. Auf diese Weise steigt der Pumpen-Förderdruck durch die Durchflußregelung unregelmäßig, und ein Überschwingen tritt auf. Die Regelung wird durch das Überschwingen wieder auf Druckregelung umgeschaltet, so daß ein Unterschwingen bewirkt wird. Durch Wiederholung von solchem Überschwingen und Unterschwingen entsteht ein unregelmäßiger Betrieb, in dem der Pumpen-Förderdruck pendelt (schwankt).

Folglich ist es sehr schwer, den vorbestimmten Wert  $\alpha$  auf den optimalen Wert einzustellen, um von der Durchflußregelung auf die Druckregelung umzuschalten, und es entsteht das Problem, daß die Zuverlässigkeit der Steuervorrichtung nicht fehlerlos garantiert ist.

Die DE-OS 32 08 250 offenbart eine Einrichtung zum Steuern und/oder Regeln einer Axialkolbenmaschine, die eine Fördermengenerfassungseinrichtung zur Erfassung einer Fördermenge, eine Druckerfassungseinrichtung zum Erfassen des Förderdrucks aufweist. Diese beiden Meßgrößen werden einem Steuergerät zugeführt, das anhand dieser Größen die Fördermenge bzw. den Förderdruck programmgesteuert regelt.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Regelungseinrichtung für eine verstellbare Förderpumpe zu schaffen, bei der beim Umschalten von Durchflußmengenregelung auf Druckregelung der Druck-Istwert den Druck-Sollwert in möglichst kurzer Zeit und möglichst ohne oder mit nur geringem Überschwingen erreicht.

Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Somit bezieht sich die Erfindung auf eine Regeleinrichtung einer steuerbaren Förderpumpe, in der die Durchflußregelung zur Regelung einer Pumpenfördermenge ausgeführt wird, so daß ein vorgesehener Durchfluß (Förder-Sollwert) bis zum Anhalten eines Lastelementes aufrechterhalten, und anschließend die Regelung auf Druckregelung umgeschaltet wird, um die Fördermenge der Pumpe so zu regeln, daß der Förderdruck, der bei Abstoppen des Steuerlastelementes ansteigt, auf einen vorgesehenen Druckwert (Druck-Sollwert) gehalten wird.

In einer solchen Regeleinrichtung werden eine verbleibende Fördermenge  $V_r$ , die notwendig ist, bis der momentane Förderdruck  $P$  den Soll-Wert  $P_c$  erreicht und eine überschüssige Fördermenge  $V_e$ , die aufgrund der Betriebs-Zeitkonstante der Pumpe abgegeben wird, unter Annahme, daß die Förderung zum momentanen Zeitpunkt angehalten wird, zuerst der Reihenfolge nach zu jedem vorbestimmten Zeitintervall, ausgehend vom Zeitpunkt der steigenden Geschwindigkeit des Förderdrucks, wenn das Lastelement anhält, vorhergesagt und berechnet. Wenn die verbleibende Fördermenge  $V_r$  und die überschüssige Fördermenge  $V_e$ , die aus der prädiktiven Berechnung gewonnen wird, übereinstimmen, wird das Aussetzen der Förderung der Pumpe oder das Regeln der Fördermenge auf eine konstante Fördermenge, basierend auf einem Leckdurchfluß (Restfördermenge)  $Q_L$ , befohlen.

4

Folglich ist trotz der Betriebs-Zeitverzögerung der Pumpe infolge des Aussetzens der Fördermenge die überschüssige Fördermenge  $V_e$ , die infolge der Betriebs-Zeitverzögerung abgegeben wird, identisch mit, oder nahezu gleich der verbleibenden Fördermenge  $V_r$ , die notwendig ist, um den Pumpen-Förderdruck auf den Druck-Sollwert  $P_c$  zu heben. Auf diese Weise entsteht kein Überschwingen, auch wenn der Förderdruck  $P$  den Druck-Sollwert  $P_c$  erreicht hat. Durch Umschalten auf Druckregelung in diesem Stadium kann der Anhalterdruck baldmöglichst auf dem Druck-Sollwert gehalten werden.

Der Förderdruck  $P$  steigt durch die Fördermengenregelung schnell an, bis die Förderung durch die vorausrechnende Einrichtung ausgesetzt wird. Der Zeitbereich zum Umschalten auf Druckregelung und Aufrechterhaltung der Haltegenauigkeit ist ziemlich klein, so daß eine hohe Geschwindigkeit der Regelantwort erkenntlich ist.

Nach Maßgabe der Erfindung werden der Lastinhalt (Lastvolumen  $V$ ) der Pumpe oder das Produkt ( $V \cdot \beta$ ) aus Lastinhalt ( $V$ ) und Flüssigkeitskomprimierbarkeit ( $\beta$ ) aus der, bei Anhalten des Steuerlastelementes, steigenden Geschwindigkeit des Förderdrucks  $P$  und dem momentanen Förderdruck  $P$  berechnet. Die Rückführverstärkung der Druckregelung wird basierend auf dem berechneten Wert ( $V \cdot \beta$ ) eingestellt.

Wenn bei Anhalten des steuerbaren Lastelementes der Förderdruck zu steigen beginnt, werden der Lastelementinhalt der Pumpe oder das Produkt ( $V \cdot \beta$ ) des Lastinhalts ( $V$ ) und der Flüssigkeitskomprimierbarkeit ( $\beta$ ) aus der steigenden Geschwindigkeit des Förderdrucks z. B. aus der Druckänderung ( $\Delta P$ ) pro Zeiteinheit und der momentanen Fördermenge  $Q_c$  berechnet. Ein Dämpfungsfaktor  $\xi$ , der die Regelcharakteristik der Druckregelung kennzeichnet, ist eine Funktion der Rückführverstärkung  $A$  der Druckregelung, der Zeitkonstanten  $T_p$  der Pumpe und des berechneten Wertes ( $V \cdot \beta$ ).

Folglich kann durch Vorhersage der Größe des Dämpfungsfaktors  $\xi$  bei geforderter Regelcharakteristik, die Rückführverstärkung  $A$  automatisch durch den berechneten Wert ( $V \cdot \beta$ ) berechnet werden. Mit Hilfe der Rückführverstärkung kann eine optimale Druckregelung einem vorbestimmten Dämpfungsfaktor  $\xi$  entsprechend ausgeführt werden.

Folglich kann, auch wenn der Lastinhalt  $V$  der Lastseite sich je nach eingesetztem Stellglied unterscheidet, die Druckregelung durch automatisches Einstellen der Rückführverstärkung für jedes Stellglied ausgeführt werden. Die erwünschte optimale Regelcharakteristik kann ohne komplizierte Einstellung erreicht werden.

Die Erfindung wird anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 ein Blockschaltbild, mit einer Steuereinrichtung nach dem Stand der Technik;

Fig. 2 beispielhafte Signalverläufe zur Erläuterung der Betriebsfunktion des Standes der Technik;

Fig. 3 ein Blockschaltbild mit einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 4 erläuternde Signalverläufe, zur Funktion der Einrichtung nach Fig. 3;

Fig. 5 ein Blockschaltbild mit einer möglichen Realisierung einer vorausrechnenden Arithmetikeinheit und einer vorausrechnenden Steuerschaltung nach Fig. 3;

Fig. 6 ein Flußdiagramm mit Betriebsabläufen für die Realisierungsvariante der Fig. 5;

Fig. 7 ein Blockschaltbild mit einem zweiten, bevor-

DE 38 23 283 C2

5

zugten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 8 Signalverläufe mit zeitabhängigen Änderungen im Speisedruck und in der Fördermenge, wenn die Regelung von der Durchflußregelung auf die Förderregelung in dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 7 ausgeführt wird;

Fig. 9 ein Blockschaltbild mit einem bevorzugten Ausführungsbeispiel einer arithmetischen Verstärkungsvorgabeeinrichtung nach Fig. 7;

Fig. 10 ein Flußdiagramm mit einer optimalen Druckregelung entsprechend dem bevorzugten Ausführungsbeispiel nach Fig. 9.

Die Fig. 1 und 2 wurden bereits in der Beschreibungseinleitung näher erläutert. Fig. 3 ist ein Blockschaltbild mit einem ersten bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

In Fig. 3 weist die steuerbare Förderpumpe 10 bekannte Bauart auf, derart, daß eine Fördermenge verändert wird, indem der Steigungswinkel einer Schiefscheibe verändert wird. Die Pumpe 10 ändert den Kolbenhub (Kolbenbewegungscharakteristik) durch Ändern des Winkels  $\Theta$  der Steigung einer Schiefscheibe abhängig von einer Eingangsspannung oder einem Eingangsstrom, womit sich die Fördermenge ändert.

Das Durchfluß-Differenzsignal  $\Delta Q$  der Summierstelle 22 bildet das Eingangssignal des Servoverstärkers 12 der Durchflußregelung. Der vorgesehene Durchflußwert  $Q_c$  (Soll-Durchfluß, Durchfluß-Sollwert), der von einem Durchfluß-Sollwertgeber (nicht dargestellt) vorgegeben ist, und der Steigungswinkel  $\Theta$  der Schiefscheibe der Pumpe 10, der von dem Winkelsensor 28 erfaßt wird, sind in dem Zustand, in dem der Schalter 16 mit dem Kontakt A verbunden ist, die Eingangssignale zur Summierstelle 22. Der Erfassungswinkel  $\Theta$  der Schiefscheibe, die an der Pumpe 10 angebracht ist, welcher von dem Winkelsensor 28 erfaßt wird, stellt die Fördermenge  $Q$  (Durchfluß, Speisefluß) dar. Folglich bildet das Differenzsignal  $\Delta Q (= Q_c - Q)$  zwischen dem Durchfluß-Sollwert  $Q_c$  und der Pumpenfördermenge  $Q$  das Ausgangssignal der Summierstelle 22. Abhängig von dem Ausgangssignal des Servoverstärkers 12, d. h. die Regelung der Steigung  $\Theta$  der Schiefscheibe, wird die Fördermenge der Pumpe 10 so geregelt, daß der Durchfluß  $Q$  auf dem Durchfluß-Sollwert  $Q_c$  liegt.

Im Verlauf der Beschreibung wird verdeutlicht, daß der Servoverstärker 12, veranlaßt von einem externen Signal, den Servoausgang für die Fördermengenregelung steuern kann.

Das Druck-Differenzsignal  $\Delta P$  der Summierstelle 26 bildet das Eingangssignal des Servoverstärkers 14 der Druckregelung. Der Soll-Wert des Druckes  $P_c$  eines Druck-Sollwertgebers (nicht dargestellt) und der Pumpenspeisedruck  $P$ , der von einem Drucksensor 30 erfaßt wird, bilden die Eingangssignale der Summierstelle 26. Ein Druckdifferenzsignal  $\Delta P = P_c - P$  zwischen diesen bildet das Ausgangssignal der Summierstelle 26. Das Ausgangssignal des Servoverstärkers 14 wird der Pumpe 10 über die Summierstelle 22 und den Servoverstärker 12 zugeführt, wenn der Schalter 16 mit dem B-Kontakt verbunden ist. Folglich wird über eine Druckregelung der Anstellwinkel der Schiefscheibe verändert, so daß die Fördermenge erzielt wird, mit der der Förderdruck  $P$  der Pumpe 10 auf einen vorgesehenen Druckwert  $P_c$  (Soll-Druckwert, Druck-Sollwert) geregelt ist.

Am Umschaltzeitpunkt in dem von der momentanen Durchflußregelung auf die Druckregelung umgeschaltet wird, wenn die Kolbenstange 32 des Zylinders 20 den Anschlag 100 berührt hat und aufgrund der Durchfluß-

6

regelung abgestoppt hat, berechnet eine vorausrechnende Arithmetikeinheit 34 eine vorausrechnende Funktion, um die Speisemenge (Fördermenge) der Pumpe 10 so zu optimieren, daß ein Haltedruck, der von einem Druck-Sollwert  $P_c$  vorgegeben ist, ohne Überschwängen erreicht wird.

Wenn die Kolbenstange 32 des Zylinders 20 den Anschlag 100 berührt und anhält, beginnt die vorausrechnende Arithmetikeinheit den Durchfluß  $Q$  und den Förderdruck  $P$  der Pumpe 10 mit einer vorbestimmten Abtastfrequenz abzutasten, wobei  $T_s$  das Abtastintervall darstellt. Die verbleibende Fördermenge  $V_r$ , die im Zeitintervall, beginnend vom momentanen Zeitpunkt (jeder Abtastzeitpunkt) und endend zum Zeitpunkt, wenn der Förderdruck  $P$  den Soll-Wert des Anhaltdruckes  $P_c$  erreicht, nötig ist, werden auf der Basis des Ergebnisses der Abtastung der steigenden Geschwindigkeit des Förderdruckes bei einem Anhalten des Zylinders 20 vorherbestimmt und berechnet. Zur gleichen Zeit präzidiert und berechnet die vorausrechnende Arithmetikeinheit 34 eine überschüssige Fördermenge  $V_e$ , die aufgrund des Zeitverhaltens der Pumpe abgegeben wird, unter der Annahme, daß die Förderung der Pumpe 10 ausgesetzt ist.

Die verbleibende Fördermenge  $V_r$  und die überschüssige Fördermenge  $V_e$ , die von der vorausrechnenden Arithmetikeinheit 34 berechnet wurde, werden einer vorausrechnenden Steuerschaltung 36 zugeführt. Die vorausrechnende Steuerschaltung 36 vergleicht die Volumina  $V_r$  und  $V_e$ , die in jedem Abtastintervall  $T_s$  von der vorausrechnenden Arithmetikeinrichtung 34 vorausberechnet wurden. Wenn die verbleibende Fördermenge  $V_r$  gleich oder größer als die überschüssige Fördermenge  $V_e$  ist, wird dem Servoverstärker 12 ein Förderstopp befohlen. Anstelle des Befehls, die Förderung auszusetzen, kann dem Servoverstärker 12 ebenfalls befohlen werden, eine Konstant-Fördermenge  $Q_L$  auszugeben, die dem Leck-Durchfluß (Rest-Fördermenge) in der Anhaltestellung des Zylinders 20 entspricht.

In der Praxis ist es wünschenswert, dem Servoverstärker 12 ein Ausgangssignal, das einer festen Fördermenge, die der letztgenannten Rest-Fördermenge entspricht, befohlen wird, sogar wenn ein Förderstopp befohlen ist, da eine geringe Menge von Öl-Leckfluß gewöhnlicherweise beim Lastelement auftritt. Nachdem die vorausrechnende Steuerschaltung 36 dem Servoverstärker 12 den Förderstopp oder das Abgeben einer konstanten Fördermenge  $Q_L$  befohlen hat, wird der Schalter 16 von der A-Seite auf die B-Seite gelegt, womit die Regelung auf Druckregelung durch das Ausgangssignal des Servoverstärkers 14 umgeschaltet ist. Das Umschalten auf Druckregelung wird ausgeführt, wenn der Förderdruck  $P$  der Pumpe 10 mit dem vorgesehenen Druck-Wert  $P_c$  (Druck-Sollwert) übereinstimmt, oder nach dem Ablauf eines vorbestimmten Zeitintervalls  $T_w$ , ausgehend von dem Übereinstimmen des Förderdruckes  $P$  mit dem Soll-Wert des Druckes  $P_c$ .

Das Prinzip der Regelung der regelbaren Pumpe 10 durch eine vorausrechnende Arithmetikeinheit 34 und eine vorausrechnende Steuerschaltung 36 von Fig. 3, wird im folgenden anhand der Fig. 4 erläutert.

Fig. 4 zeigt Änderungen des Speisedruckes  $P$  und der Fördermenge  $Q$ , wenn der Zylinder 20 durch das Annehmen der Fördermenge einer Flüssigkeit infolge der Durchflußregelung über die steuerbare Pumpe 10, auf der Basis des Durchfluß-Sollwertes  $Q_c$ , den Anschlag 100 berührt und anhält.

Im folgenden wird angenommen, daß die Kolbenstan-

DE 38 23 283 C2

7

8

ge 32 des Zylinders 20 den Anschlag 100 berührt und zum Zeitpunkt  $T_0$  anhält, wobei die Bewegung der Kolbenstange von Zylinder 20 blockiert ist. Zu diesem Zeitpunkt, da die Pumpe 10 die Flüssigkeit der Fördermenge  $Q$ , die mit der Soll-Fördermenge  $Q_C$  in der Durchflußregelungs-Betriebsart übereinstimmt, abgibt, steigt der innere Druck des Zylinders 20, d. h. der Pumpen-Förderdruck steigt ab dem Zeitpunkt  $t_0$ , wenn der Zylinder 20 anhält.

Der Förderdruck, zum Zeitpunkt des Anhaltens des Zylinders, steigt in Abhängigkeit der folgenden Gleichung:

$$P = 1/(V \cdot \beta) \int_0^t Q dt + P_0 \quad (1)$$

wobei  $V$  das Volumen des Lastelements 20 und die Komprimierbarkeit der Betriebsflüssigkeiten kennzeichnen. Unter Annahme einer konstanten Fördermenge ergibt sich der Förderdruck zu

$$P = (Q/V \cdot \beta)t + P_0 \quad (2)$$

wobei er linear, entsprechend Fig. 4 steigt.

In der vorausrechnenden Arithmetikeinheit 34 beginnt das Abtasten der Fördermenge  $Q$  und des Speisedrucks  $P$  (Förderdruck) zu jedem vorbestimmten Abtastintervall  $T_s$ , beginnend zum Zeitpunkt  $T_0$ , wenn der Zylinder 20 anhält.

Unter der Annahme, daß der Förderdruck zum momentanen Zeitpunkt (ein bestimmter Abtastzeitpunkt) durch  $P_n$  und der Förderdruck im vorhergehenden Abtastintervall  $T_s$  durch  $P_{n-1}$  dargestellt wird, können die Drücke nach den folgenden Gleichungen berechnet werden.

$$P_n = (Q/V \cdot \beta)t + P_0 \quad (3)$$

$$P_{n-1} = (Q/V \cdot \beta) \cdot (t - T_s) + P_0 \quad (4)$$

Um das Verhältnis  $(Q/V \cdot \beta)$ , das die steigende Geschwindigkeit mit der der Förderdruck von  $P_{n-1}$  auf  $P_n$  ansteigt, ergibt, zu erhalten, wird der Gradient, d. i. die Differenz zwischen den Förderdrücken  $P_n$  und  $P_{n-1}$  berechnet, der sich als steigende Geschwindigkeit des Druckes anhand der folgenden Gleichungen berechnet

$$P_n - P_{n-1} = (Q/V \cdot \beta)T_s \quad (5)$$

$$Q/V \cdot \beta = (P_n - P_{n-1})/T_s \quad (6)$$

Auf diese Weise kann die verbleibende Zeit  $T_r = t_r$ , ausgehend vom momentanen Zeitpunkt  $t_n$ , bis zu einem Zeitpunkt, wo der Förderdruck den Druck-Sollwert  $P_C$  als vorgesehenen Anhaltedruck erreicht, anhand der folgenden Gleichungen berechnet werden

$$(P_n - P_C)/t_r = (P_n - P_{n-1})/T_s \quad (7)$$

$$T_r = ((P_C - P_n)/(P_n - P_{n-1}))T_s = t_r \quad (8)$$

Folglich kann das Volumen der Flüssigkeit, das während des verbleibenden Zeitintervalls  $t_r$ , ausgehend vom momentanen Zeitpunkt  $t_n$  durch die Pumpe 10 entladen wird, d. h. die verbleibende Fördermenge  $V_r$ , vorausgerechnet werden über

$$V_r = Q \cdot t_r \quad (9)$$

Andererseits kann die Pumpe 10 aufgrund ihrer Betriebs-Zeitverzögerung nicht sofort die Förderung anhalten oder auf eine vorbestimmte Menge zurücknehmen, wenn die Fördermenge auf die feste Fördermenge, basierend auf der Leckfördermenge bei Aussetzen der Förderung oder bei Anhalten des Zylinders durch Änderung des Anstellwinkels der Schiefscheibe infolge des Befehls eines Förderstopps der Pumpe 10 nach einem Verstreichen eines Zeitintervalls  $t_r$ , nachdem der Förderdruck  $P$  den Druck-Sollwert  $P_C$  ausgehend vom momentanen Zeitpunkt erreicht. Die Überschuß-Zufuhr beginnt. So wird der Anhaltedruck nur durch die Menge erhöht, die der Überschußmenge entspricht.

Infolgedessen berechnet die vorausrechnende Arithmetikeinheit 34 nach Fig. 3 die überschüssige Fördermenge  $V_e$ , die infolge der Betriebs-Zeitverzögerung der Pumpe 10 entladen wird, voraus, unter der Annahme, daß die Förderung der Pumpe 10 zum momentanen Zeitpunkt ausgesetzt wird. Es ist äußerst schwierig, die überschüssige Fördermenge  $V_e$  infolge der Betriebs-Zeitverzögerung der Pumpe 10 zu berechnen, da eine Bandbreite der Leistungsfähigkeit von Pumpen vorhanden ist und die Betriebs-Zeitkonstanten sich abhängig vom Betriebspunkt ändern. Wenn die Verzögerung der Durchflußregelung der Pumpe 10, z. B. als vorübergehende Verzögerung angesehen wird, kann das überschüssige Volumen  $V_e$  über folgende Gleichung berechnet werden,

$$V_e = Q \cdot T_p \left(1 - e^{-\frac{t}{T_p}}\right) \quad (10)$$

wobei  $Q$  die Fördermenge kurz vor dem Förderstopp,  $T_p$  die Zeitkonstante der Pumpe, und  $t$  die Zeit, relativ zu Befehl des Förderstopps darstellen. Wenn

$$z \approx e^{-\frac{t}{T_p}}$$

die Bedingung  $t > 2T_p$  erfüllt, kann angenommen werden, daß  $z \approx 0$  ist. Folglich errechnet sich

$$V_e \approx Q \cdot T_p \quad (11)$$

Die vorausrechnende Arithmetikeinheit 34 tastet den Förderdruck  $P$  ab, um die überschüssige Fördermenge  $V_r$  zu berechnen und tastet gleichzeitig die Fördermenge  $Q$ , d. h. den Anstellwinkel  $\Theta$  der Schiefscheibe der Pumpe ab, womit die überschüssige Fördermenge  $V_e$  unter der Annahme berechnet wird, daß die Förderung zum momentanen Zeitpunkt aussetzt. Die von der vorausrechnenden Arithmetikeinrichtung 34 zu jedem Abtastzeitpunkt berechneten Volumina, die verbleibende Fördermenge  $V_r$  und die überschüssige Fördermenge  $V_e$  bilden die Eingangssignale der vorausrechnenden Steuerschaltung 36, wo sie verglichen werden.

Wenn die Volumina  $V_r$  und  $V_e$ , die von der Arithmetikeinrichtung 34 gewonnen werden, gleich sind,

$$V_r = V_e \quad (12)$$

befiehlt die vorausrechnende Steuerschaltung 36 dem Servoverstärker 12 den Förderstopp oder die Reduzie-

DE 38 23 283 C2

9

10

rung der Förderung auf einen konstanten Durchfluß, der dem Leckdurchfluß eines hydraulischen Systems auf der Zylinder-Seite 20 entspricht. Nach dem Verstreichen der vorgesehenen Zeit  $T_w = 2T_p \dots 3T_p$ , die zweibis dreimal so lang sein kann wie die Zeitkonstante  $T_p$  der Pumpe 10, oder nachdem der Förderdruck im wesentlichen mit dem Druck-Sollwert  $P_c$  übereinstimmt, wird die über die Rückführschleife steuernde Arithmetikfunktion abgeschaltet. Wenn das konstante Zeitintervall  $T_w$  verstrichen ist, oder wenn  $P_c = P$ , wird der Schalter auf die B-Seite geschaltet, womit dem Servoverstärker 14 erlaubt wird, eine inhärente Druckregelung auszuführen.

Die Steuerung über die vorausrechnende Arithmetikeinrichtung 34 und die vorausrechnende Steuereinrichtung 36 werden im folgenden anhand der Fig. 4 praktisch beschrieben.

Zum Zeitpunkt  $t_0$ , wenn die Kolbenstange 32 des Zylinders 20 das Ziel 100 berührt, und abstoppt, wird die Fördermenge  $Q$  entsprechend der konstanten Soll-Fördermenge  $Q_c$  von der Durchflußregelung gewonnen. Folglich steigt der Druck  $P$  ausgehend vom Zeitpunkt  $t_0$  linear an. Die Recheneinrichtung 34 berechnet das verbleibende Fördervolumen  $V_r$  und das überschüssige Fördervolumen  $V_e$  zu jedem vorbestimmten Abtastintervall und gibt es an die vorausrechnende Steuereinrichtung 36 aus. Die vorausrechnende Steuereinrichtung 36 überwacht, ob die verbleibende Fördermenge  $V_r$  gleich, oder größer als die überschüssige Fördermenge  $V_e$  ist, oder nicht. Wird z. B. angenommen, daß  $V_e = V_r$  zum Zeitpunkt  $t_n$  ist, weist die vorausrechnende Steuereinrichtung 36 z. B. den Servoverstärker 12 an, die Fördermenge auf die konstante Fördermenge  $Q_c$ , die dem Leckdurchfluß des hydraulischen Systems auf der Seite des Zylinders 20 bei einem Anhalten dieses Zylinders, entspricht. Auf diese Weise ändert sich der Anstellwinkel in der Pumpe 10 und der Durchfluß  $Q$  wird auf den konstanten Durchfluß  $Q_L$  herabgesetzt. Die steigende Geschwindigkeit des Förderdrucks  $P$ , die linear mit dem Abfallen der Fördermenge  $Q$  anstieg, wird ebenfalls herabgesetzt. Die verbleibende Fördermenge  $V_r$ , notwendig ist, damit der Förderdruck den Soll-Wert des Förderdruckes  $P_c$  erreicht, der zu einem Zeitpunkt  $t_n$  vorhergesagt wurde, ist gleich der überschüssigen Fördermenge  $V_e$ , die, gekennzeichnet durch das schraffierte Gebiet, ebenfalls vorausberechnet wurde. Auf diese Weise erreicht der Druck  $P$  ohne Überspringen den Druck-Sollwert  $P_c$ . Nach Ablauf des festen Zeitintervalls  $T_w$ , das einem Zeitintervall zwischen  $2T_p$  bis  $3T_p$  entspricht, ausgehend vom Zeitpunkt  $t_n$ , oder wenn der Förderdruck  $P$  im wesentlichen mit dem Soll-Förderdruck  $P_c$  übereinstimmt, wird der Schalter 16 auf die B-Seite geschaltet, womit die Regelung auf Druckregelung durch den Servoverstärker 14 geschaltet ist. Folglich tritt kein Überspringen und kein Schaltdruck auf, auch wenn die Regelung von der Durchflußregelung auf die Druckregelung umgeschaltet wird. Falls trotzdem ein Schaltdruck auftritt, ist er so klein, daß er vernachlässigt werden kann.

Fig. 5 zeigt ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer vorausrechnenden Arithmetikeinheit 34 und einer vorausrechnenden Steuerschaltung 36, entsprechend dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 3.

Fig. 5 zeigt einen Analog-Multiplexer 38, einen A/D-Wandler 40 und einen Mikroprozessor 42.

Der Analog-Multiplexer 38 erhält der Reihenfolge nach den Druck-Sollwert  $P_c$ , den Druckwert  $P$  und den Durchfluß  $Q$  (Anstellwinkel  $\Theta$  der Schiefscheibe) zu

vorbestimmten Zeitintervallen. Der A/D-Umsetzer 40 wandelt ein Ausgangssignal des analogen Multiplexers 38 in ein digitales Signal. Der Mikroprozessor 42 berechnet die verbleibende Speisemenge  $V_r$  und die überschüssige Speisemenge  $V_e$  und gibt, basierend auf dem Vergleich zwischen den berechneten Volumina  $V_r$  und  $V_e$  Steuersignale an den Servoverstärker 12 und den Schalter 16 aus. Die Steuerung durch den Mikrorechner 42, der in Fig. 5 dargestellt ist, wird anhand des Flußdiagramms von Fig. 6 erläutert.

In Fig. 6 wird im Programmschritt S1 zuerst geprüft, ob die Kolbenstange 32 des Zylinders 20 das Ziel 100 berührt hat und anhält, oder nicht. Wenn die Kolbenstange 32 das Objekt 100 berührt und der Zylinder 20 anhält, wird im Programmschritt S2 geprüft, ob der Abtastzeitpunkt gekommen ist. Wenn der Zeitpunkt des Abtastens eintritt, folgt der Programmschritt S3 und der momentane Durchfluß  $Q$  und der momentane Druck  $P$  werden gemessen. Im folgenden Programmschritt S4 werden die verbleibende Fördermenge  $V_r$  und die überschüssige Fördermenge  $V_e$  berechnet. Die berechneten Volumina  $V_r$  und  $V_e$  werden im Programmschritt S5 verglichen. Wenn  $V_r$  gleich oder größer als  $V_e$  bei Programmschritt S5 ist, folgt der Programmschritt S6, mit dem dem Servoverstärker 12 der Förderstopp oder die Reduzierung auf eine konstante Fördermenge  $Q_L$  befohlen wird. Im folgenden Programmschritt S7 wird geprüft, ob das feste Zeitintervall  $T_w$  verstrichen ist, oder ob der Förderdruck  $P$  mit dem Soll-Wert des Druckes  $P_c$  übereinstimmt.

Wenn die Bedingung von Programmschritt S7 erfüllt ist, wird die Forderung nach Förderstopp oder konstantem Durchfluß im Programmschritt S8 aufgehoben. Der Schalter 16 wird im Programmschritt S9 auf die B-Seite umgeschaltet, womit die Regelung auf Druckregelung über den Servoverstärker 14 geschaltet ist.

Die Volumina  $V_r$  und  $V_e$  können ebenfalls ohne die Bedingung, ob der Zylinder anhält, bei Programmschritt S1 zu jedem Zeitpunkt berechnet und verglichen werden.

Anhand eines weiteren Ausführungsbeispiels der Erfindung wird im folgenden die Berechnung der überschüssigen Fördermenge  $V_e$  der Pumpe 10, die von der vorausrechnenden Arithmetikeinheit 34 nach Fig. 3 ermittelt wird, erläutert.

Wie vorher schon gesagt wurde, ist die Berechnungsgenauigkeit der überschüssigen Fördermenge  $V_e$  der Pumpe 10 gering. Im Fall einer ähnlichen Pumpenart, d. h. einem gleichen Pumpentyp, ist die Variation zwischen Pumpen jedoch gering und die Pumpen arbeiten nahezu gleichartig. Die überschüssige Fördermenge  $V_e$  kann beispielsweise durch die Funktion des Durchflusses  $Q$ , unmittelbar vor einem Förderstopp beschrieben werden.

$$V_e = f(Q - \Theta) \quad (13)$$

Dies bedeutet, daß die überschüssige Speisemenge  $V_e$  nahezu unbedingt anhand des Durchflusses  $Q$  oder des Anstellwinkels  $\Theta$  der Schiefscheibe kurz vor dem Anhalten der Pumpe bestimmt werden kann.

Folglich kann, wenn der anfängliche Wert  $Q$ , oder der Anstellwinkel  $\Theta$  der Schiefscheibe kurz vor dem Abstoppen der Pumpe bekannt war, die überschüssige Fördermenge  $V_e$  unbedingt bestimmt werden. An die Stelle einer Berechnung der überschüssigen Fördermenge  $V_e$ , basierend auf der vorübergehenden Zeitverzögerung, wie oben beschrieben, tritt eine experimentelle Bestim-

DE 38 23 283 C2

11

mung der überschüssigen Fördermenge  $V_e$ , wobei die anfängliche Fördermenge  $Q$  als Variable, zur Adressierung einer erzeugten Datentabelle, in die die experimentellen Werte von  $V_e$  geschrieben wurden, verwendet wird. Diese Datentabelle wird z. B. in den Speicher des Mikroprozessors 42, der in Fig. 5 dargestellt ist, geschrieben. Die überschüssige Speisemenge  $V_e$ , die dem Förderpumpendurchfluß  $Q$  (der Durchsatz zum Zeitpunkt  $t_n$  nach Fig. 4) entspricht, wird unmittelbar bevor die Pumpe anhält, ausgelesen. Hierdurch kann eine Regelung mit hoher Genauigkeit erzielt werden.

Andererseits verwendete die Berechnung der verbleibenden Fördermenge  $V_r$  durch die Arithmetikeinheit 34 nach Fig. 3 nur den momentanen Druck  $P_n$  und den um eine Abtastzeitperiode zurückliegenden Druck  $P_{n-1}$ , womit die verbleibende Zeit  $T_r$ , bis der Förderdruck den Soll-Druckwert  $P_c$  erreicht, vorausberechnet wird. Die arithmetische Genauigkeit der überschüssigen Fördermenge  $V_r$  kann weiter durch Gewichten oder ähnlichem von mehreren Werten verbessert werden, wobei  $P_{n-1}$  ein Abtastintervall zurückliegt und  $P_{n-2}$  zwei Abtastintervalle zurückliegen und  $P_{n-3}$  drei Abtastintervalle zurückliegt, entsprechend können auch die Differenzen zwischen zurückliegenden Förderdruckwerten verwendet werden, oder ähnliches.

Bisher war angenommen, daß der Durchfluß  $Q$  durch die Durchflußregelung zu einer Zeit konstant ( $Q = Q_c$ ) war, die in der Nähe von  $t_0$ , zu der die Kolbenstange 32 des Zylinders 20 das Ziel 100 berührt und anhält, liegt. Jedoch kann durch Anheben des Durchsatzes  $Q$  ab einem Zeitpunkt, der nahe bei  $T_0$  liegt, die Antwortgeschwindigkeit bis der Förderdruck den Soll-Druckwert  $P_c$  erreicht, weiter verbessert werden.

Wenn der Durchfluß  $Q$  konstant ist, wird, obwohl die überschüssige Fördermenge  $V_e$  der Beziehung

$$V_e = f(\Theta) \quad (14)$$

genügt,  $V_e$  als Funktion von zwei Parametern

$$V_e = f(\Theta(d\Theta/dt)) \quad (15)$$

angesehen werden mit,

$$d\Theta/dt = Q_n - Q_{n-1} \quad (16)$$

Auf diese Weise wird eine Speichertabelle gewonnen, um die überschüssige Fördermenge  $V_e$  zu erhalten. Durch Auslesen der überschüssigen Fördermenge  $V_e$  anhand des anfänglichen Durchflusses  $Q$  und  $(Q_n - Q_{n-1})$  aus der Speichertabelle, wird die steigende Geschwindigkeit, mit der der Förderdruck den Anhaltedruck erreicht, der von einem Soll-Druckwert  $P_c$  vorgegeben ist, vergrößert. Die Geschwindigkeit der Regel-Antwort kann erhöht werden. Entsprechend dem Ausführungsbeispiel von Fig. 3 werden die verbleibende Fördermenge, die notwendig ist, bis der momentane Förderdruck den Anhaltedruck erreicht und die überschüssige Fördermenge, die aufgrund der Betriebs-Zeitverzögerung der Pumpe abgegeben wird, wenn angenommen wird, daß die Förderung zum momentanen Zeitpunkt ausgesetzt wird, der Reihenfolge nach aus einer ansteigenden Geschwindigkeit des Druckes bei Anhalten des Lastelements vorausberechnet. Wenn die beiden, die verbleibende Fördermenge und die überschüssige Fördermenge übereinstimmen, kann der Förderdruck durch Aussetzen der Förderung oder durch Reduzieren der Fördermenge auf eine konstante Fördermenge, die auf der

12

Anhalte-Leckfördermenge basiert, auf einen Anhaltedruck geregelt werden, wobei kein Überspringen auftritt. Äußerst gute Regeleigenschaften werden hiermit erreicht.

Mit einer Steuereinrichtung nach dem Stand der Technik müssen, um das Auftreten eines Überspringens zu vermeiden, komplizierte Abgleicharbeiten, nachdem das System hergestellt worden ist, ausgeführt werden, derart, daß z. B. die Rückführverstärkung der Druckregelung herabgesetzt werden muß. Entsprechend dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung besteht keine Notwendigkeit mehr, die Rückführverstärkung der Druckregelung einzustellen oder ähnliches und die Abgleicharbeiten nach Fertigstellung des Systems können vereinfacht werden.

Zusätzlich kann eine Steuereinrichtung nach dem Stand der Technik nicht an eine Präzisionsvorrichtung, in der kein Überspringen auftreten darf, angebracht werden. Mit dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung kann eine hohe Regelgenauigkeit ohne den Gebrauch von zusätzlichen Hydraulik-Druckventilen oder ähnlichem, um den Überspringer zu absorbieren, erzielt werden.

Bei der ersten praktischen Ausgestaltung der Erfindung gibt es nicht nur einen Betriebsfall, in dem kein Überspringen gefordert wird, sondern es ist auch eine Regelcharakteristik erforderlich, in der ein Überspringen aktiv erzeugt wird. Um das Überspringen zu vermeiden, wird die Regelungs-Art umgeschaltet, um die Fördermenge auszusetzen, wenn die verbleibende Fördermenge und die überschüssige Fördermenge übereinstimmen. Wenn jedoch  $V_r$  kleiner als  $V_e$  ist, d. h. die verbleibende Fördermenge  $V_r$  ist um eine vorbestimmte Menge geringer, als die überschüssige Fördermenge  $V_e$ , kann durch Umschalten der Betriebsart die erforderliche Regelcharakteristik mit Überspringen leicht realisiert werden.

Fig. 7 zeigt ein Blockschaltbild mit einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung.

In Fig. 7 kann die steuerbare Förderpumpe 10 den Anstellwinkel der Schiefscheibe abhängig von einer Eingangsspannung oder einem Eingangsstrom ändern. Wenn der Anstellwinkel der Schiefscheibe sich ändert, variiert der Kolbenhub, so daß der Durchfluß  $Q$  geändert werden kann. Der Anstellwinkel der Schiefscheibe wird von dem Winkelsensor 28 erfaßt, wobei der Erfassungswinkel  $\Theta$  die Fördermenge  $Q$  der Pumpe darstellt.

Für die Pumpe 10 sind ein Durchflußregel-System und ein Druckregel-System vorgesehen.

Das Durchflußregel-System weist einen Servoverstärker 12 und eine Summierstelle 22 auf. Der Soll-Durchfluß  $Q_c$  eines Soll-Durchflußgebers (nicht dargestellt) und der Erfassungswinkel  $\Theta$  des Winkelsensors 28, d. h. der Durchfluß  $Q$  der Pumpe 10 bilden Eingangssignale der Summierstelle 22. Das Signal, das die Differenz zwischen  $Q_c$  und  $Q$  anzeigt, bildet ein Eingangssignal des Servoverstärkers 12. Bei Durchflußregelung ist der Schalter 16 in die Stellung A geschaltet. Der Durchfluß der Pumpe 10 wird durch das Ausgangssignal des Servoverstärkers 12 nach Art einer Rückführung so gestaltet, daß er mit dem Sollwert des Durchflusses  $Q_c$  übereinstimmt.

Das Druckregel-System weist den Servoverstärker 14 und die Summierstelle 26 auf. Der Druck-Sollwert  $P_c$  eines Druck-Sollwertgebers (nicht dargestellt), d. h. der Sollwert des Haltedruckes, nachdem die Kolbenstange 32 des Zylinders 20 das Ziel 100 berührt hat und anhält, bildet ein Eingangssignal für die Summierstelle 26. Der

## DE 38 23 283 C2

13

Speisedruck P der Pumpe 10, der über Druckgeber 30 gemessen wird, bildet ebenfalls ein Eingangssignal der Summierstelle 26. Das Differenzsignal, welches die Differenz zwischen  $P_c$  und P ist, bildet als Ausgangssignal der Summierstelle 26 das Eingangssignal des Servoverstärkers 14. In der Druckregelungs-Betriebsart ist der Schalter 16 in der Stellung "B". Der Speisedruck P der Pumpe 10 wird nach Art der Steuerung mit Rückführung durch das Ausgangssignal des Servoverstärkers 14 dem Druck-Sollwert  $P_c$  angepaßt.

Die Ausgänge der DC-Verstärker 12 und 14 werden durch den Schalter 16 als Druckregler oder Durchflußregler umgeschaltet. Die Schaltfunktion von Schalter 16 wird über den Ausgang des Komparators 18 gesteuert. Der Speisedruck der Pumpe 10, der von dem Drucksensor 30 erfaßt wird, und das Referenzsignal der Summierstelle 24 bilden Eingangssignale des Spannungskomparators 18. Die Summierstelle 24 weist den Druck-Sollwert  $P_c$  und einen vorbestimmten Wert  $\alpha$  als Eingangssignale auf. Der Differenzwert ( $P_c - \alpha$ ), der geringfügig kleiner als der Druck-Sollwert  $P_c$  ist, bildet als Referenzsignal ein Eingangssignal des Spannungskomparators 18. In normaler Durchflußregelung gibt der Spannungskomparator 18 z. B. ein Signal mit hohem Pegel ("1") ab, und der Schalter 16 ist auf die A-Seite geschaltet, da der Speisedruck P geringer als der Referenzwert ( $P_c - \alpha$ ) der Summierstelle 24 ist. Das Ausgangssignal des Servoverstärkers 12 bildet das Eingangssignal der Pumpe 10. Auf diese Weise wird eine Durchflußregelung ausgeführt.

Der Speisedruck P beginnt zu steigen, wenn der Zylinder 20 das Zylinderende, oder die Kolbenstange 32 das Ziel 100 berührt und aufgrund der Durchflußregelung anhält. Wenn der steigende Speisedruck P den Referenzwert ( $P_c - \alpha$ ) der Summierstelle 24 erreicht oder größer wird, wird der Ausgangspegel des Komparators 18 auf niedrigen Pegel ("0") invertiert, womit Schalter 16 in die B-Lage geschaltet wird und das Ausgangssignal des Servoverstärkers 14 das Eingangssignal für die Pumpe 10 bildet. Die Betriebsart ist auf Druckregelung geschaltet.

Eine solche Struktur ist identisch mit der Einrichtung des Standes der Technik nach Fig. 1. Zusätzlich zur bekannten Struktur ist in dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung ein Multiplizierer 46 am Eingang des Servoverstärkers 14 für die Druckregelung vorgesehen. Das Differenzsignal der Summierstelle 26 und ein Multipliziersignal (Faktor) einer arithmetischen Verstärkungsvorgabeeinrichtung 44, die später erläutert wird, bilden Eingangssignale des Multiplizierers 46. Das Signal, welches durch Multiplizieren des Faktors der Verstärkungsvorgabeeinrichtung 44 mit dem Differenzsignal gewonnen wird, bildet das Ausgangssignal zum Servoverstärker 14.

Es kann z. B. ein multiplizierender D/A-Wandler als Multiplizierer 46 eingesetzt werden. Das Differenzsignal (analoges Spannungssignal) der Summierstelle 26 bildet das Eingangssignal für den Referenzspannungseingang des multiplizierenden D/A-Wandlers. Der Faktor (digitale Daten) der Verstärkungsvorgabeeinrichtung 44 bildet das Eingangssignal für die digitalen Eingänge des D/A-Wandlers. Auf diese Weise kann ein analoges Signal vom D/A-Wandlerausgang gewonnen werden, das aus dem Produkt des Eingangssignals des Referenzspannungsanschlusses und dem Faktor der Digitaleingänge besteht.

Durch Einsetzen des Multiplizierers 46, um das Differenzsignal der Summierstelle 26 für den Eingang des

14

Servoverstärkers 14 zu multiplizieren, kann eine ähnliche Funktion erreicht werden, die bei einem Servoverstärker 14 mit variabler Verstärkung erzielt worden wäre. Die Rückführverstärkung der Druckregelung kann durch Variation des Faktors der Verstärkungsvorgabeeinrichtung 44 eingestellt werden.

Die Verstärkungsvorgabeeinrichtung 44 berechnet das Lastvolumen V der Pumpe oder das Produkt ( $V \cdot \beta$ ) aus Lastvolumen V und Flüssigkeitskomprimierbarkeit  $\beta$  aus der steigenden Geschwindigkeit des Speisedrucks P, wenn der Zylinder 20 als gesteuerte Last das Zylinderende oder die Kolbenstange 32 das Ziel 100 berührt und anhält. Die Rückführverstärkung der Druckregelung wird auf der Basis des berechnenden Wertes V oder ( $V \cdot \beta$ ) eingestellt; auf diese Weise wird eine vorbestimmte Regelcharakteristik erzielt.

Das Steuerungsprinzip der Rückführverstärkung der Druckregelung durch die arithmetische Verstärkungsvorgabeeinrichtung 44 wird im folgenden erläutert.

Fig. 8 zeigt Signalverläufe, zum Erläutern des Zustandes, in dem der Förderdruck P seit dem Auftreffen der Kolbenstange 32 des Zylinders 20 (steuerbares Lastelement) das Ziel 100 berührt hat, und aufgrund der Durchflußregelung mit dem Durchfluß-Sollwert  $Q_c$  angehalten hat, steigt.

Die Flüssigkeit der Fördermenge  $Q_c$ , die mit dem Durchfluß-Sollwert  $Q_c$  übereinstimmt, wird von der Pumpe 10 über die Durchflußregelung abgegeben. Die Kolbenstange 32 des Zylinders 20 beginnt ihre Bewegung vom linken Ende und bewegt sich nach rechts, bis die Kolbenstange 32 das Ziel 100 berührt, so daß sie sich nicht mehr bewegen kann. Die Kompression der von der Pumpe 10 abgegebenen Betriebsflüssigkeit beginnt im Zylinder 20, so daß der Betriebsdruck P der Pumpe 10 vom Zeitpunkt  $t_0$ , wenn die Kolbenstange 32 das Ziel berührt hat, plötzlich zu steigen beginnt.

Der Druck steigt entsprechend folgender Gleichung

$$P = (1/V \cdot \beta) \int_0^t Q_c dt + P_0 \quad (17)$$

wobei

V das Lastvolumen,  
 $\beta$  die Komprimierbarkeit der Betriebsflüssigkeit und  $P_0$  der Förderdruck zum Zeitpunkt  $t_0$  sind. Da die Fördermenge  $Q_c$  konstant ist, steigt der Förderdruck P der Pumpe 10 linear an

$$P = (Q_c/V \cdot \beta)t + P_0 \quad (18)$$

Die Verstärkungsvorgabeeinrichtung 44 mißt den Förderdruck P zu jedem vorbestimmten Abtastintervall  $T_s$ . Wenn angenommen wird, daß der momentane Förderdruck, der im Bereich des Druckanstieges nach dem Zeitpunkt  $t_0$  abgetastet wurde, mit  $P_n$  bezeichnet ist und der Förderdruck im vorhergehenden Abtastintervall  $T_s$  mit  $P_{n-1}$  bezeichnet ist, werden  $P_n$  und  $P_{n-1}$  durch die folgende Gleichung beschrieben

$$P_n = (Q_c/V \cdot \beta)t + P_0 \quad (19)$$

$$P_{n-1} = (Q_c/V \cdot \beta)(t - T_s) + P_0 \quad (20)$$

Durch Berechnung der Differenz zwischen  $P_n$  und  $P_{n-1}$

DE 38 23 283 C2

15

$$P_n - P_{n-1} = (Q_c/V \cdot \beta) T_s \quad (21)$$

kann das Produkt  $(V \cdot \beta)$  des Lastvolumens  $V$  und der Flüssigkeitskomprimierbarkeit  $\beta$  über

$$V \cdot \beta = (P_n - P_{n-1}) T_s / Q_c \quad (22)$$

berechnet werden.

Mit anderen Worten wird die steigende Geschwindigkeit (Änderung pro Zeiteinheit) des Förderdrucks bei Anhalten des Zylinders aus dem Förderdruck  $P_n$  zum momentanen Zeitpunkt und aus dem Förderdruck  $P_{n-1}$ , der ein Abtastintervall  $T_s$  zurückliegt, berechnet. Das Produkt  $(V \cdot \beta)$  aus Lastvolumen  $V$  und Betriebs-Flüssigkeitskomprimierbarkeit  $\beta$  kann auf der Basis des Durchflusses  $Q_c$  berechnet werden.

Ein stabiler Koeffizient, d. h. der Dämpfungsfaktor  $\xi$  des Druckregelsystems kann im wesentlichen durch

$$\xi = 0,5 \cdot \sqrt{V \cdot \beta / (A \cdot k \cdot T_p)} \quad (23)$$

ausgedrückt werden, wobei

$A$  den Verstärkungsfaktor des Servoverstärkers 14,  $K$  eine weitere Verstärkung, und  $T_p$  die Zeitkonstante der Pumpe darstellen.

Aus dieser Gleichung wird ersichtlich, daß bei geringem Wert von  $(V \cdot \beta)$  der Dämpfungsfaktor  $\xi$  sinkt. Andererseits steigt der Dämpfungsfaktor  $\xi$ , wenn der Wert von  $(V \cdot \beta)$  groß ist.

Es ist allgemein bekannt, daß wenn der Dämpfungsfaktor  $\xi$  gleich 1 ist, die Einschwingzeit am kürzesten ist und eine schwingungslose Antwort erreicht wird. Andererseits, wenn eine geringe Schwingung erlaubt ist, ist es ausreichend,  $\xi$  kleiner als 1 zu wählen. Die optimale Regelung wird, unter Vermeidung von Schwingung, durch Wählen von  $\xi$  als 1 ausgeführt. Der Verstärkungsfaktor  $A$  des Servoverstärkers 14 wird so berechnet, daß der Dämpfungsfaktor  $\xi$  den vorgegebenen optimalen Wert aufweist, wenn die Verstärkungsvorgabeeinrichtung 44 aus dem Verlauf des Druckanstieges, bei Anhalten des Zylinders 20 ( $V \cdot \beta$ ), berechnet.

Die Verstärkung des Servoverstärkers 14 wird durch folgende Gleichung ermittelt

$$A = (V \cdot \beta) / (4 \cdot \xi^2 \cdot K \cdot T_p) \quad (24)$$

Das Ausgangssignal des Spannungskomparators 18 wird überwacht. Wenn von der Durchflußregelung auf die Druckregelung umgeschaltet wird, werden die digitalen Daten (Faktor), die der Verstärkung  $A$  des Servoverstärkers 14 entsprechen, dem Multiplizierer 46 zugeführt. Durch Aufrechterhalten eines konstanten Faktors, während sich die Steuervorrichtung in der Betriebsart "Druckregelung" befindet, kann die optimale Rückführverstärkung der Druckregelung immer automatisch bestimmt werden.

Fig. 9 zeigt ein praktisches Ausführungsbeispiel der Verstärkungsvorgabeeinrichtung 44 von Fig. 7.

Die arithmetische Verstärkungsvorgabeeinrichtung von Fig. 9 weist einen analogen Multiplexer 48, einen A/D-Wandler 50 und einen Mikroprozessor 52 auf. Der Förderdruck  $P$  der Pumpe 10 und der Anstellwinkel  $\Theta$  der Schiefscheibe, d. h. die Fördermenge  $Q$ , bilden Eingangssignale des analogen Multiplexers 48. Der Förderdruck  $P$  und der Durchfluß  $Q$  bilden nacheinander die Eingangssignale des analogen Multiplexers 48, zu jedem

16

vorbestimmten Abtastintervall  $T_s$ . Das Ausgangssignal des analogen Multiplexers 48 wird durch den A/D-Wandler 50 in ein digitales Signal gewandelt und bildet das Eingangssignal für den Mikroprozessor 52.

Der Komparatorausgang des Spannungskomparators 18 von Fig. 7 wird dem Mikroprozessor 52 zugeführt. Durch Überwachen des Komparatorausgangs kann die Betriebsart von Durchflußregelung auf Druckregelung oder von Druckregelung auf Durchflußregelung geschaltet werden. Der Wert des Dämpfungsfaktors  $\xi$ , über den die Sprungantwort der Druckregelung eingestellt wird, ist im Mikroprozessor 52 nach Maßgabe der Last-Charakteristik voreingestellt. Wenn, z. B. eine Sprungantwort derart gewünscht wird, daß die Einschwingzeit kurz ist und keine Schwingung auftritt, wird der Dämpfungsfaktor  $\xi$  mit 1 vorgelegt.

Fig. 10 zeigt ein Flußdiagramm der arithmetischen Verstärkungsvorgabeeinrichtung durch den Mikroprozessor 52 von Fig. 9.

Für Fig. 10 wird angenommen, daß der Durchfluß der Pumpe 10 auf der Basis des Durchfluß-Sollwerts  $Q_c$  geregelt wird und daß die Bewegung der Kolbenstange 32 des Zylinders 20 vom linken Ende nach rechts begonnen hat. Nun wird im Programmschritt S1 geprüft, ob eine vorbestimmte Abtastzeit abgelaufen ist oder nicht. Wenn sie abgelaufen ist, folgt der Programmschritt S2 und der Förderdruck  $P$  und der Durchfluß  $Q$  zu diesem Zeitpunkt werden gemessen. Im nächsten Programmschritt S3 wird das Produkt  $(V \cdot \beta)$  aus Lastvolumen und Flüssigkeitskomprimierbarkeit  $\beta$  berechnet. Im Programmschritt S4 wird die Verstärkung  $A$  des Servoverstärkers 14 auf der Basis des berechneten Wertes  $(V \cdot \beta)$  so berechnet, daß ein voreingestellter Dämpfungsfaktor von  $\xi = 1$  erzielt wird.

In Programmschritt S5 wird geprüft, ob die Druckregelung eingeschaltet ist oder nicht. Für den Fall, daß die Durchflußregelung vorliegt, werden die Programmschritte S1 bis S5 wiederholt.

Der Förderdruck  $P$  steigt plötzlich, wenn die Kolbenstange 32 des Zylinders 20 das Ziel 100 berührt und anhält. Wenn der Förderdruck  $P$  den Wert  $(P_c - \alpha)$ , der als Referenzwert durch die Summierstelle 24 vorgegeben ist, erreicht, oder größer wird, wird der Ausgang des Spannungskomparators 18 auf einen L-Pegel invertiert, womit der Schalter 16 von der A-Lage in die B-Lage geschaltet wird. Folglich wird im Programmschritt S5 ermittelt, daß die Druckregelung eingeschaltet ist, und Programmschritt S6 folgt. Im Programmschritt S6 wird der Faktor, der im Programmschritt S4 berechnet wurde, dem Multiplizierer 46 ausgegeben. Auf diese Weise wird die Rückführverstärkung der Druckregelung auf einen Wert gesetzt, der auf dem Faktor der Verstärkungsvorgabeeinrichtung 44 basiert. Die Druckregelung wird durch den vorgelegten Dämpfungsfaktor  $\xi = 1$  ausgeführt. Darauf folgt, daß die Antwortcharakteristik (Sprungantwort) der Druckregelung so ist, daß der Pumpenförderdruck  $P$  schnell auf den Druck-Sollwert  $P_c$  einschwingt und keine Schwingung auftritt. Der Förderdruck des angehaltenen Zylinders 20 wird auf dem Druck-Sollwert  $P_c$  gehalten.

Im nächsten Programmschritt S7 wird geprüft, ob die Durchflußregelung eingeschaltet ist oder nicht. Wenn die Durchflußregelung im Programmschritt S7 nicht eingeschaltet ist, wird das Ausgeben des Faktors von Programmschritt S6 wiederholt. Wenn die Regelung auf Durchflußregelung geschaltet ist, kehrt das Bearbeitungsprogramm zu Programmschritt S1 zurück.

In dem Ausführungsbeispiel wurden der Druck  $P_n$

## DE 38 23 283 C2

17

zum momentanen Zeitpunkt und der Druck  $P_{n-1}$ , der ein Abtastintervall  $T_s$  zurückliegt, zur Berechnung des Produktes  $(V \cdot \beta)$  aus Lastvolumen und Flüssigkeitskomprimierbarkeit verwendet. Es ist jedoch auch möglich, den Mittelwert von mehreren Produkten  $(V \cdot \beta)$ , die unter Verwendung des Druckes  $P_{n-1}$  (ein Abtastintervall zurück) und des Druckes  $P_{n-2}$  (zwei Abtastintervalle zurück) und des Druckes  $P_{n-3}$  (drei Abtastintervalle zurück) u. s. f., berechnet werden, zu bilden. Die Genauigkeit des berechneten Wertes von  $(V \cdot \beta)$  kann durch eine solche Mittelwertbildung weiter verbessert werden. In dem vorangegangenen Ausführungsbeispiel wurde das Produkt  $(V \cdot \beta)$  aus Lastvolumen und Flüssigkeitskomprimierbarkeit aus der steigenden Geschwindigkeit des Förderdrucks und dem Durchfluß berechnet. Es ist jedoch auch möglich, die Rückführverstärkung in einer ähnlichen Art, durch Annehmen einer konstanten Flüssigkeitskomprimierbarkeit  $\beta$  und Berechnen des Lastvolumens,  $V$ , zu steuern.

In dem zweiten Ausführungsbeispiel wird, wie oben gezeigt, das Lastvolumen  $V$  der Pumpe oder das Produkt  $(V \cdot \beta)$  aus Lastvolumen und Flüssigkeitskomprimierbarkeit aus der steigenden Geschwindigkeit des Förderdrucks bei Abstoppen der Last und dem momentanen Durchfluß berechnet, und die Rückführverstärkung der Druckregelung auf der Basis dieses berechneten Wertes  $(V \cdot \beta)$  gesteuert. Es besteht daher keine Notwendigkeit, die Rückführverstärkung der Druckregelungsschleife für Einrichtungen, die einen großen Bereich von verschiedenen Lastvolumen abdecken, entsprechend der steuerbaren Förderpumpe jeder Einrichtung einzustellen, folglich können die Anzahl der Abgleichvorgänge und die Abgleichkosten gesenkt werden.

Zusätzlich können unregelmäßige Steuervorgänge oder ähnliches als Folge fehlerhaften Abgleichens nicht auftreten. Die Antwortcharakteristik der Druckregelung, entsprechend einem vorbestimmten Dämpfungsfaktor, wird automatisch erreicht. Auf diese Weise können die Leistungsfähigkeit der Regelung und die Zuverlässigkeit verbessert werden.

## Patentansprüche

1. Regeleinrichtung für eine verstellbare Pumpe (10), mit einer Fördermengenerfassungseinrichtung (28) zur Erfassung der Fördermenge (Q) der Pumpe (10);  
mit einer Druckerfassungseinrichtung (30) zum Erfassen des Förderdruckes (P) der Pumpe (10);  
mit einer Fördermengenregeleinrichtung (22, 12) zur Regelung der Fördermenge (Q) der Pumpe (10), um eine von einem Soll-Fördermengengeber vorgegebene Soll-Fördermenge ( $Q_c$ ) aufrechtzuerhalten, bis ein durch das Fördermedium der Pumpe (10) angetriebener Verbraucher (20, 32) durch eine Last angehalten wird,  
mit einer Druckregeleinrichtung (26, 14) zur Regelung der Fördermenge (Q) der Pumpe (10) derart, daß der Ist-Förderdruck (P), der bei Anhalten des Verbrauchers (20, 32) steigt, auf einem von einem Soll-Druckgeber vorgegebenen Soll-Förderdruck ( $P_c$ ) gehalten wird; gekennzeichnet durch eine vorausrechnende Arithmetikeinrichtung (34) zur intervallweisen Vorausberechnung der Restfördermenge ( $V_r$ ), die noch notwendig ist, um nach Anhalten des Verbrauchers (20, 32) auf der Basis des steigenden Förderdrucks den Ist-Förderdruck

18

(P) auf den Soll-Förderdruck ( $P_c$ ) zu bringen, und zum Vorausberechnen der Nachlauffördermenge ( $V_e$ ), die sich beim sofortigen Zurückschalten der Pumpe (P) zum momentanen Zeitpunkt ( $t_n$ ) ergibt, und

eine vorausrechnende Steuerschaltung (36) zur Bestimmung des Rückschaltzeitpunktes der Pumpe (10) auf Nullförderung oder auf eine konstante Fördermenge auf der Basis der von der Fördermengenregeleinrichtung (22, 12) aufgenommenen Leck-Fördermenge ( $Q_L$ ), dann wenn die verbleibende Restfördermenge ( $V_r$ ) und die Nachlauffördermenge ( $V_e$ ), die aus der Arithmetikeinrichtung (34) gewonnen werden, übereinstimmen.

2. Regeleinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die vorausrechnende Steuerschaltung (36) eine Schalteinrichtung (16) so steuert, daß diese die Regeleinrichtung zum Rückschaltzeitpunkt der Pumpe (10) von Fördermengenregelung auf Druckregelung umschaltet.

3. Regeleinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Arithmetikeinrichtung (34) ausgehend vom momentanen Zeitpunkt  $t_n$ , eine verbleibende Zeitspanne  $T_r$ , innerhalb der der Ist-Förderdruck (P) den Soll-Förderdruck ( $P_c$ ) erreicht, unter Verwendung folgender Gleichung berechnet:

$$T_r = [(P_c - P_n) / (P_n - P_{n-1})] T_s$$

und daß die Restfördermenge  $V_r$  der Pumpe (10) unter Verwendung der verbleibenden Zeit  $T_r$  durch folgende Gleichung berechnet wird:

$$V_r = Q \cdot T_r$$

wobei  $P_n$  der Förderdruck zum momentanen Zeitpunkt  $t_n$  ist,

$Q$  die Fördermenge ist, und

$P_{n-1}$  der Förderdruck im vorhergehenden Abtastintervall ( $T_s$ ) ist.

4. Regeleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Arithmetikeinrichtung (34) die Nachlauffördermenge  $V_e$  unter Verwendung folgender Gleichung berechnet:

$$V_e = Q \cdot T_p$$

wobei  $Q$  die Fördermenge unmittelbar vor dem Zurückschalten der Pumpe ist, und  $T_p$  die Zeitkonstante der Pumpe (10) ist.

5. Regeleinrichtung für eine verstellbare Pumpe (10) mit einer Fördermengenerfassungseinrichtung (28) zur Erfassung der Fördermenge (Q) der Pumpe (10).

mit einer Druckerfassungseinrichtung (30) zum Erfassen des Förderdruckes (P) der Pumpe (10);

mit einer Fördermengenregeleinrichtung (22, 12) zur Regelung der Fördermenge (Q) der Pumpe (10), um eine von einem Soll-Fördermengengeber vorgegebene Soll-Fördermenge ( $Q_c$ ) aufrechtzuerhalten, bis ein durch das Fördermedium der Pumpe (10) angetriebener Verbraucher (20, 32) durch eine Last angehalten wird,

mit einer Druckregeleinrichtung (26, 14) zur Regelung der Fördermenge (Q) der Pumpe (10) derart, daß der Förderdruck (P), der bei Anhalten des Verbrauchers (20, 32) steigt, auf einem von einem Soll-Druckgeber vorgegebenen Soll-Förderdruck ( $P_c$ )

DE 38 23 283 C2

19

20

gehalten wird, gekennzeichnet durch  
 eine Schalteinrichtung (16) zum Umschalten der  
 Regelung von Fördermengen-Regelung auf Druck-  
 regelung (26, 46, 14), wenn der Ist-Förderdruck (P)  
 bei eingeschalteter Fördermengenregelung einen  
 vorbestimmten Wert ( $P_c - \alpha$ ) überschreitet, und  
 wieder auf Fördermengenregelung, wenn der Ist-  
 Förderdruck (P) gleich wie oder geringer als der  
 vorbestimmte Wert ( $P_c - \alpha$ ) bei eingeschalteter  
 Druckregelung ist; und  
 eine arithmetische Verstärkungsvorgabeeinrich-  
 tung (44) zur Berechnung des Produktes ( $V \cdot \beta$ ) aus  
 dem Lastvolumen (V) der Pumpe (10) und der  
 Komprimierbarkeit ( $\beta$ ) des Fördermediums aus  
 dem beim Anhalten des Verbrauches (32) durch die  
 Last steigenden Förderdruck (P) und der Förder-  
 menge (Q) zu diesem Zeitpunkt zwecks Steuerung  
 der Regelverstärkung der Druckregeleinrichtung  
 (26, 46, 14).  
 6. Regeleinrichtung nach Anspruch 5, dadurch ge-  
 kennzeichnet,  
 daß die arithmetische Verstärkungsvorgabeein-  
 richtung (44) eine Abtasteinrichtung zum intervall-  
 weisen Abtasten (Abtastintervall  $T_s$ ) des Ist-För-  
 derdrucks (P) aufweist, wobei die Abtastung er-  
 folgt, wenn der Verbraucher (20, 32) anhält und der  
 Ist-Förderdruck der Pumpe (10) zu steigen beginnt,  
 und daß die Verstärkungsvorgabeeinrichtung (44)  
 ferner eine Arithmetikeinrichtung aufweist, die das  
 Produkt ( $V \cdot \beta$ ) anhand folgender Gleichung be-  
 rechnet:

$$V \cdot \beta = (P_n - P_{n-1}) \cdot T_s / Q_c,$$

wobei  $P_n$  der mit der Abtasteinrichtung gemessene  
 momentane Ist-Förderdruck ist, und  $P_{n-1}$  der För-  
 derdruck ist, der ein Abtastintervall zuvor gemes-  
 sen wurde.

7. Regeleinrichtung nach Anspruch 5, dadurch ge-  
 kennzeichnet,  
 daß die arithmetische Verstärkungsvorgabeein-  
 richtung (44) Mittel zur Berechnung der Verstär-  
 kung A eines für die Druckregelung vorgesehenen  
 Servoverstärkers anhand folgender Gleichung auf-  
 weist:

$$A = (V \cdot \beta) / (4 \cdot \xi^2 \cdot K \cdot T_p),$$

wobei der bereits berechnete Wert des Produktes  
 ( $V \cdot \beta$ ) verwendet wird und  $\xi$  der Dämpfungsfaktor  
 ist,  
 K eine weitere Verstärkung ist, und  
 $T_p$  die Zeitkonstante der Pumpe (10) ist,  
 und daß die arithmetische Verstärkungsvorgabe-  
 einrichtung (44) ferner Mittel zur Einstellung der  
 Verstärkung A aufweist.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

60

65

JUN. 4. 2007 12:48PM

+1-212-319-5101 customer 01933

NO. 4200 P. 22

— Leerseite —



ZEICHNUNGEN SEITE 2

Nummer:

DE 38 23 283 C2

Int. Cl.<sup>3</sup>:

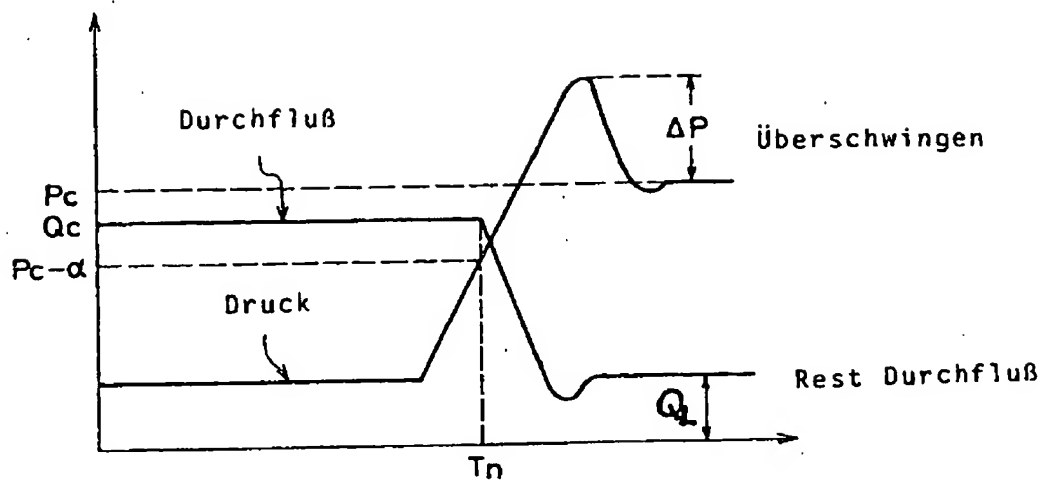
F 04 B 1/08

Veröffentlichungstag: 10. September 1992

FIG.2

Druck P

Durchfluß Q



208 137/147



ZEICHNUNGEN SEITE 4

Nummer:

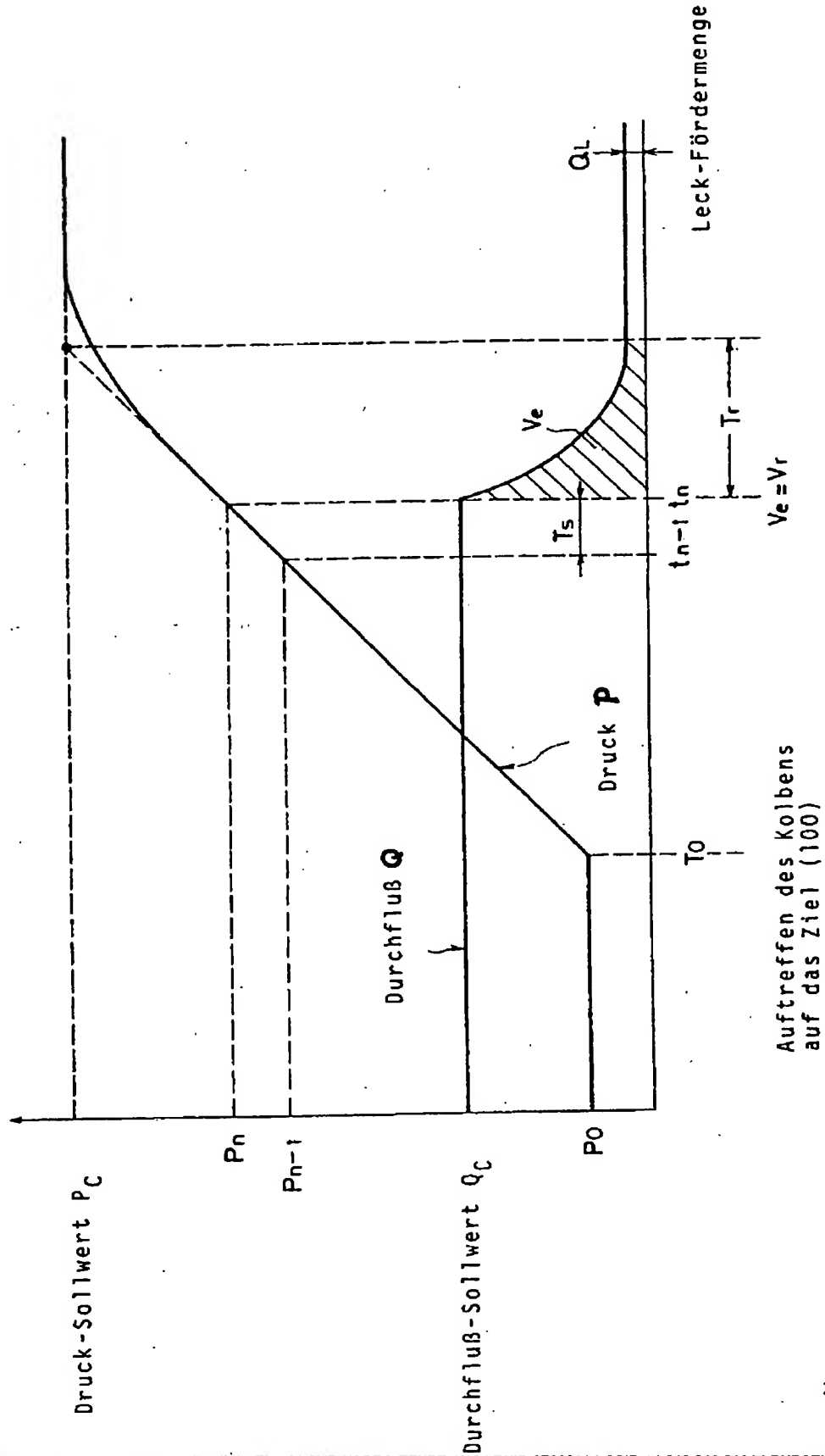
DE 38 23 283 C2

Int. Cl. 5:

F 04 B 1/08

Veröffentlichungstag: 10. September 1992

FIG. 4



208 137/147

FIG.5

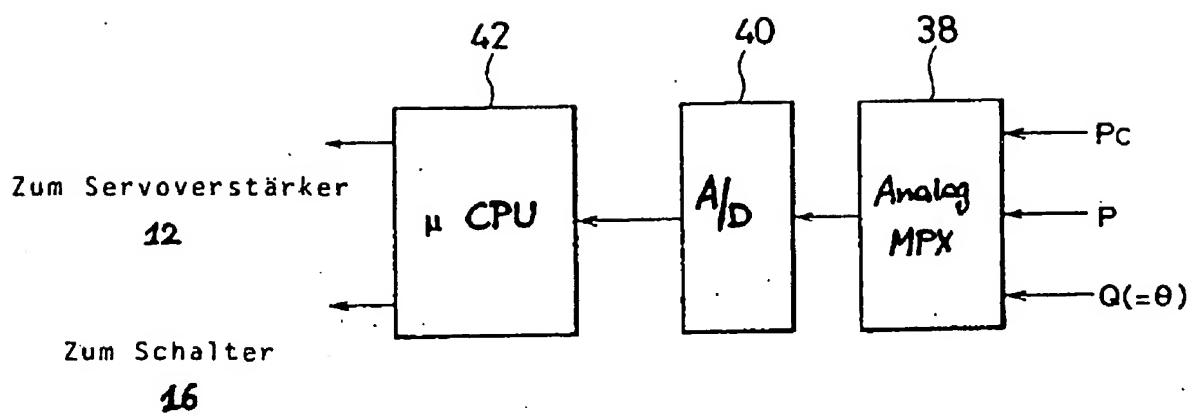
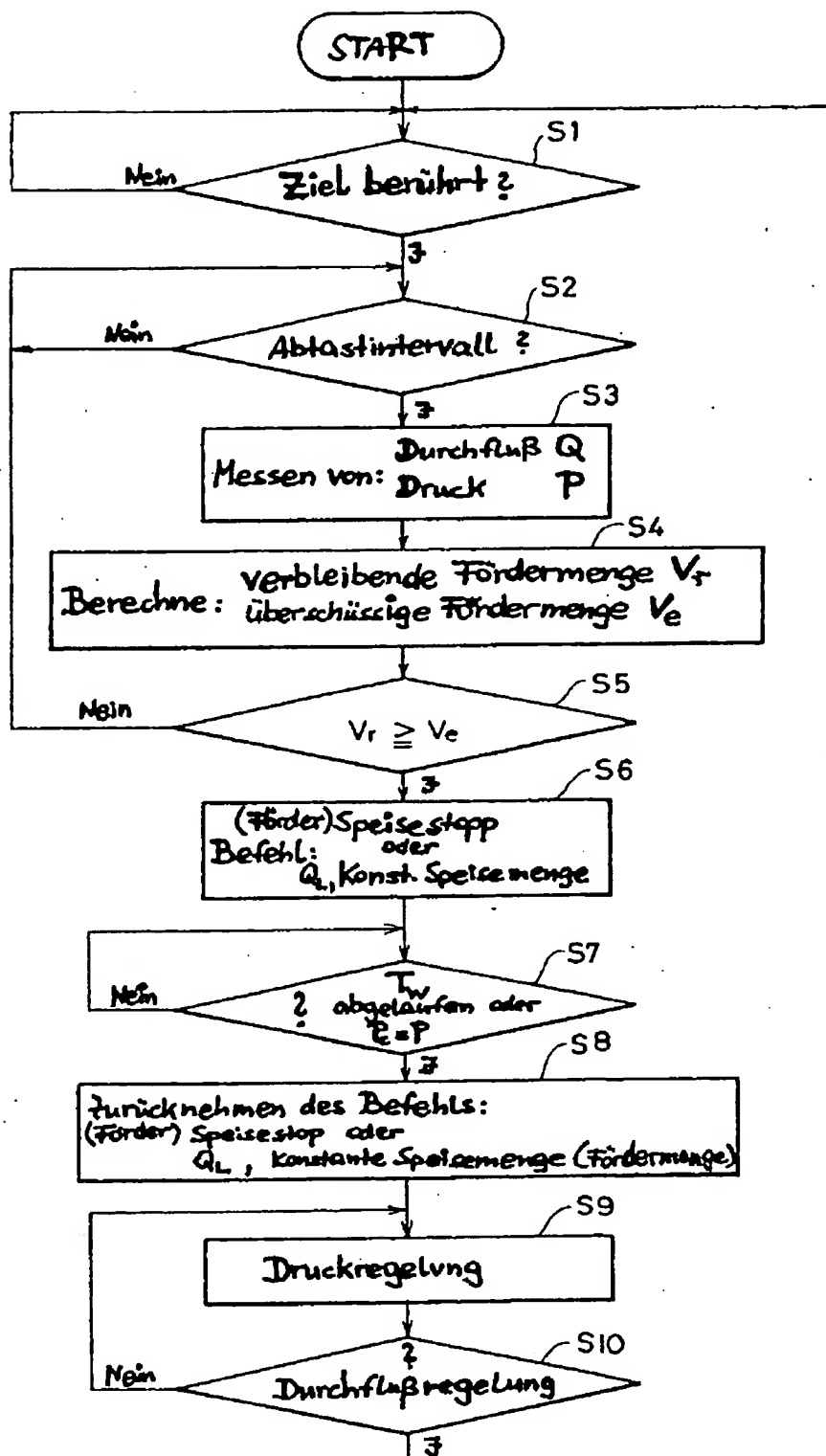


FIG. 6



208 137/147



ZEICHNUNGEN SEITE 8

Nummer:

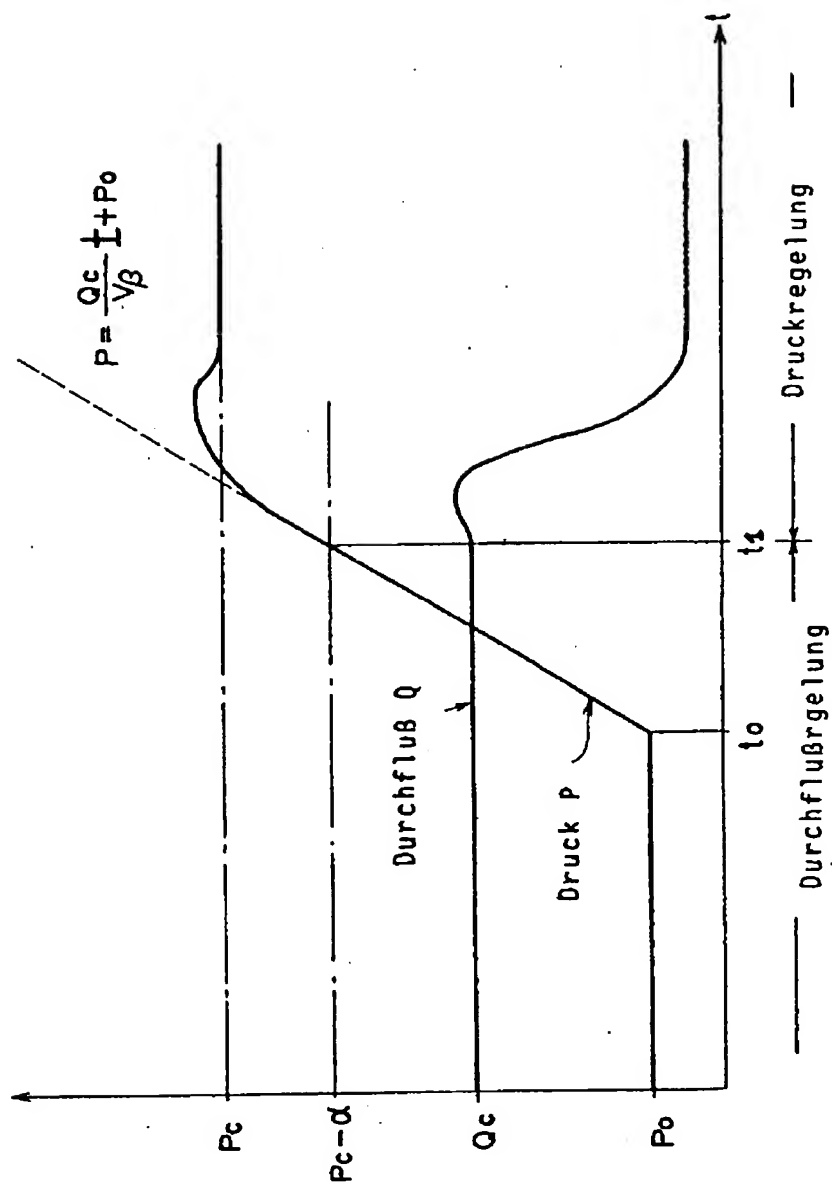
DE 38 23 283 C2

Int. Cl. 5:

F04 B 1/08

Veröffentlichungstag: 10. September 1992

FIG. 8



208 137/147

ZEICHNUNGEN SEITE 9

Nummer:

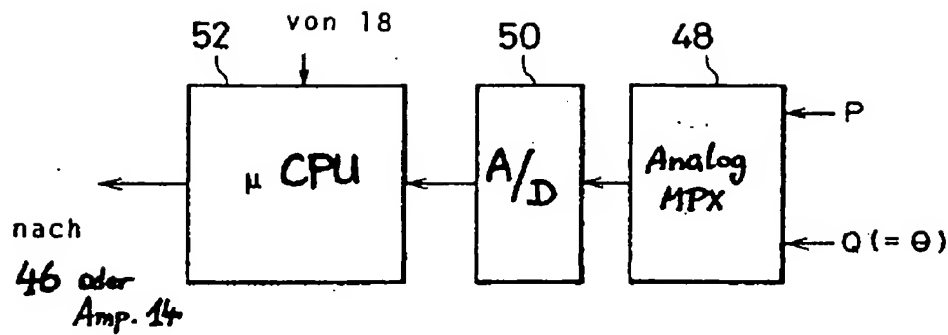
DE 38 23 283 C2

Int. Cl.<sup>8</sup>:

F 04 B 1/08

Veröffentlichungstag: 10. September 1992

FIG. 9



208 137/147

FIG. 10

